

Delayed onset of ventricular fibrillation after low voltage electrical injury

Opožděná fibrilace komor po úrazu elektrickým proudem nízkého napětí

Cmorej PCh^{1,2}, Peřan D^{3,4}, Amoussa J⁵, Nedvěd V³, Pekara J^{3,6}, Böhm P⁵, Bulíková T^{7,8}

¹Zdravotnická záchranná služba Ústeckého kraje, Ústí nad Labem, Česká republika

Cmorej PCh, Peřan D, Amoussa J, Nedvěd V, Pekara J, Böhm P, Bulíková T. **Delayed onset of ventricular fibrillation after low voltage electrical injury.** Cardiology Lett. 2019;28(2–3):109–113

Abstract. Delayed onset of ventricular fibrillation is a very rare complication of low voltage electric shock. The authors present a case of a 23-year-old man with low voltage electrical injury with onset of ventricular fibrillation several minutes after the injury. The return of spontaneous circulation was reached after the third defibrillation shock and the patient left the hospital at his own request the day following the injury. The authors also describe the issue of monitoring of a patient affected by electric current. The aim of the case report is to point out the rarity of delayed onset of ventricular fibrillation after low voltage electrical injury. Fig. 2, Ref. 10, on-line full text (Free, PDF) www.cardiologyletters.sk

Key words: electric current – defibrillation – ventricular fibrillation

Cmorej PCh, Peřan D, Amoussa J, Nedvěd V, Pekara J, Böhm P, Bulíková T. **Opožděná fibrilace komor po úrazu elektrickým proudem nízkého napětí.** Cardiology Lett. 2019;28(2–3):109–113

Abstrakt. Opožděná fibrilace komor je velmi raritní komplikací úrazu elektrickým proudem nízkého napětí. Autoři prezentují kazuistiku triadvacetiletého muže zasaženého elektrickým proudem se vznikem fibrilace komor až po několika minutách od úrazu. Návrat spontánního oběhu byl dosažen po třetím defibrilačním výboji a pacient druhý den po úrazu na vlastní žádost opustil zdravotnické zařízení. Autoři se dále v článku věnují problematice monitorace pacienta zasaženého elektrickým proudem. Cílem kazuistiky je poukázat na raritní vznik opožděné fibrilace komor po úrazu elektrickým proudem nízkého napětí. Obr. 2, Lit. 10, on-line full text (Free, PDF) www.cardiologyletters.sk

Klíčová slova: elektrický proud – defibrilace – fibrilace komor

Elektrina je součástí lidských životů, avšak špatné, neopatrné, nebezpečné zacházení a nepozornost, která se s jejím užíváním pojí, může mít fatální následky. Následky působení elektrického proudu na organismus mají mnoho podob, a to

od drobných popálenin kůže, až po zástavu oběhu a náhlého úmrtí zapříčiněného vážným poškozením srdce (1).

V níže uvedené kazuistice prezentujeme pacienta s opožděnou náhlou zástavou oběhu s defibrilovatelnou poruchou

Ze ¹Zdravotnické záchranné služby Ústeckého kraje, Ústí nad Labem, ²Univerzity Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta zdravotnických studií, Ústí nad Labem, ³Zdravotnické záchranné služby hl. m. Prahy, Praha, ⁴Kabinetu veřejného zdravotnictví, 3. lékařská fakulta UK v Praze, Praha, ⁵Českého vysokého učení technického v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, Kladno, ⁶Vysoké školy zdravotnické, Praha, Česká republika, ⁷Slovenskej zdravotníckej univerzity v Bratislave, Fakulta ošetrovateľstva a odborných zdravotníckych štúdií, Bratislava a ⁸Záchrannej zdravotnej služby Life Star Emergency, Limbach, Slovenská republika

Do redakcie došlo dňa 19. mája 2019; prijaté dňa 20. júna 2019

Adresa pre korešpondenciu: PhDr. Mgr. et Mgr. Patrik Christian Cmorej, PhD., MHA, Zdravotnická záchranná služba Ústeckého kraje, p. o., Sociální péče 799/7A, 400 11 Ústí nad Labem, Česká republika, e-mail: cmorej.patrik@zssuk.cz

srdečního rytmu po zasažení elektrickým proudem. Zároveň uvádíme benefit komplexního přístupu k pacientovi s náhlou zástavou oběhu po úrazu elektrickým proudem. Cílem kazuistiky je však upozornit na raritní možnost vzniku opožděné náhlé zástavy oběhu po zasažení elektrickým proudem nízkého napětí.

Východiska

Negativní účinky elektrického proudu mohou vést primárně k elektrickému poškození, ale často také způsobují termická a mechanická poranění, včetně sekundárního traumatu. Každý z těchto účinků může způsobit úmrtí zasažené osoby. Poranění elektrickým proudem je jedním z typů poranění, která si žádají komplexní péči (2, 3).

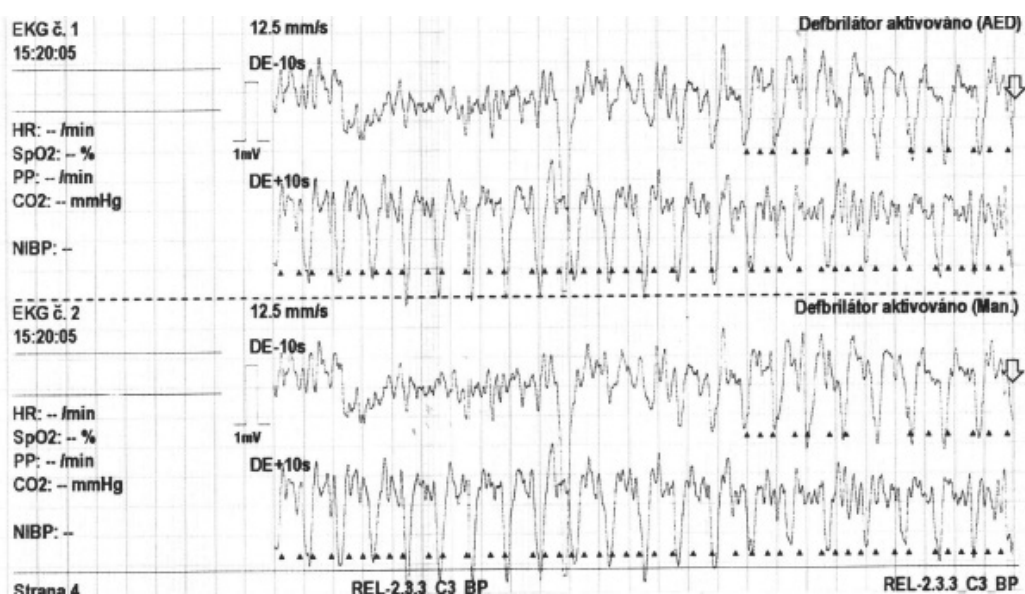
Závažnost poranění elektrickým proudem závisí na několika faktorech. Jedním z hlavních faktorů je intenzita elektrického proudu. Poranění elektrickým proudem klasifikujeme podle intenzity zdroje na úrazy elektrickým proudem nízkého napětí (do 1000 V) a úrazy elektrickým proudem o vysokém napětí (nad 1000 V). Rozdíl mezi těmito poraněními je podstatný především po klinické stránce (4). Úrazy způsobené vysokým napětím mají zpravidla mnohem větší potenciál exponovanou tkáň zničit, proto se v těchto případech často objevuje ztráta tkáně, mnohdy s nutností amputace zasažené končetiny. Nízké napětí naopak způsobuje především lokální poranění v místě kontaktu tkáně s elektrickým proudem (4). Dalším faktorem, který určuje míru závažnosti následků je typ proudu – stejnosměrný nebo střídavý. Obecně platí, že kolísající amplituda střídavého proudu je pro člověka mno-

hem nebezpečnější než proud stejnosměrný. Často způsobuje poranění neslučitelná se životem (3).

Kazuistika

Zdravotnické operační středisko přijalo tísňové volání ze stavby v obchodním centru. Na místě události se nacházel tříadvacetiletý cizinec, který kolegům sdělil, že byl zasažen elektrickým proudem při manipulaci s elektrickou zásuvkou a že se necítí dobře. Následně pacient po několika minutách zkolaboval. Operátorka zdravotnického operačního střediska z důvodu bezvědomí a bezdeší zahájila s volajícím telefonicky asistovanou neodkladnou resuscitaci pacienta. Současně byly na místo události vyslány výjezdové skupiny rychlé zdravotnické pomoci a rychlé lékařské pomoci v systému rendez-vous.

Zdravotnická záchranná služba na místě události našla osobu s náhlou zástavou oběhu resuscitovanou přítomným volajícím. Bezprostředně po příjezdu se záchranáři ujali péče o pacienta. Ověřili náhlou zástavu oběhu a pokračovali v kompresích hrudníku. Pacient byl bezodkladně připojen na monitor/defibrilátor s vyhodnocením vstupního srdečního rytmu. Pro přítomnost fibrilace komor byl aplikován defibrilační výboj 200 J (**obrázek 1**). Pacient byl ventilován pomocí obličejové masky a samorozpínacího vaku napojeného na kyslík. Pacientovi byl zaveden intraoseální vstup. Po dvou minutách od prvního výboje byla provedena analýza srdečního rytmu. Pro přetrvávající fibrilaci komor byl aplikován druhý defibrilační výboj (200 J). Při třetí analýze srdečního rytmu nadále přetrvávala fibrilace komor, proto byl aplikován další výboj (200 J) (**obrázek 2**) následovaný podáním



Obrázek 1 Vstupní analýza rytmu s přítomnou fibrilací komor

resuscitačních léků podle doporučených postupů Evropské resuscitační rady (ERC). Při čtvrté analýze srdečního rytmu byla již identifikována organizovaná elektrická aktivita srdeční v podobě sinusového rytmu s návratem spontánního oběhu. Obnovení spontánního oběhu (ROSC) bylo dosaženo před 10. minutou rozšířené resuscitace.

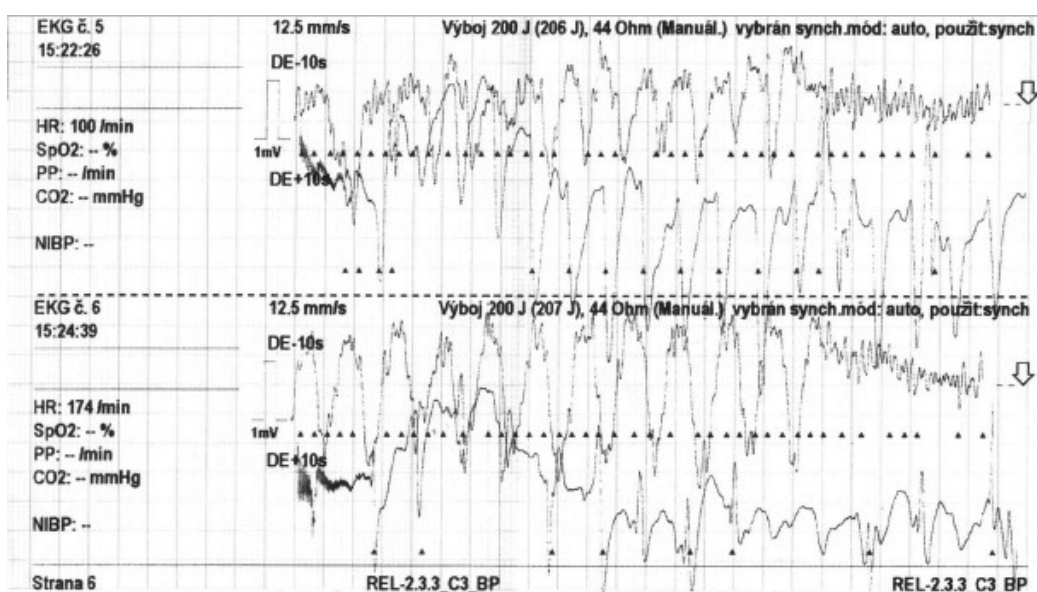
Po obnovení spontánního oběhu zahájili členové posádky vyšetření pacienta podle algoritmu ABCDE. Paralelně probíhaly nutné výkony a opatření k bezpečnému a rychlému převozu pacienta do zdravotnického zařízení. Vstupně byla průchodnost dýchacích cest zajištěna záklonem hlavy a zavedením ústního vzduchovodu s aplikací kyslíku 10 litrů za minutu skrze obličejovou maskou. Pro přetrvávající poruchu vědomí lékař indikoval zajištění dýchacích cest endotracheální intubací. Současně pokračovalo vyšetření pacienta v kontextu ABCDE algoritmu. Dýchání bylo symetrické, sklípkové, bez vedlejších fenoménů. Oxygenoterapie byla upravena na základě hodnot pulsní oxymetrie, přičemž byl kladen důraz na udržení SpO₂ v rozmezí 94 – 98 %. Krevní oběh byl přechodně nestabilní s nutností vazopresorické podpory noradrenalinem. Kapilární návrat byl mírně prodloužený (do 3 s). Před transportem byl zaveden periferní žilní katetr a podán balancovaný krystaloidní roztok. Před podáním analgosedace bylo provedeno neurologické vyšetření. Přetrvávala porucha vědomí s algickou reakcí na předsunutí čelisti v podobě grimasy obličejových svalů, avšak bez doprovodné reakce končetin. Zornice byly izokorické se zpomalenou fotoreakcí. U pacienta byly přítomny bloudivé pohyby očních bulbů. Po základním neurologickém vyšetření byla provedena endotracheální intubace v analgosedaci (midazolam, propofol a sufentanil) s využitím periferního myorelaxancia. Pacient byl připojen na

transportní ventilátor s nastavenými hodnotami minutového objemu (MV) 7 l/min, dechovou frekvencí (DF) 14 dechů/min a frakcí kyslíku (F_iO₂) 0,5. Po referování pacienta s využitím akronymu ATMIST zdravotnickému operačnímu středisku byl zahájen transport na urgentní příjem cílové nemocnice.

Ve zdravotnickém zařízení byly provedeny kompletní laboratorní testy, rentgen hrudníku a echokardiografické vyšetření srdce. Zobrazovací vyšetření neprokázala patologický nález. V biochemickém vyšetření dominovaly vyšší koncentrace hs- troponinu T (62.0 ng/l; norma < 14) a myoglobinu (1227 ug/l; norma < 72). Pacientovi byly zavedeny invazivní vstupy. Po 4 hodinách hospitalizace na anesteziologicko-resuscitačním oddělení byl pacient extubován a probuzen do plného vědomí. Nadále již nevyžadoval vazopresorickou podporu. Pacient byl ještě téhož večera přeložen na jednotku intenzivní péče. Druhý den po resuscitaci podepsal negativní revers a opustil nemocnici.

Diskuze

Poranění elektrickým proudem může alterovat jakýkoliv orgán v organismu. Poškození srdce nebývá výjimkou. Nejčastější klinickou manifestací poškození srdce je výskyt arytmií, které mohou být zastoupené jak benigní formou, tak život ohrožující maligní poruchou srdečního rytmu. Výskytem arytmií a elektrocardiografických změn se v retrospektivní observační studii zabývali autoři Pilecky et al. (5). Do studie bylo zařazeno celkem 480 pacientů ošetřených na urgentním příjmu pro poranění elektrickým proudem v letech 2011 až 2016. V souboru pacientů dominovaly úrazy způsobené



Obrázek 2 Druhá a třetí analýza rytmu s přítomnou fibrilací komor

elektrickým poraněním nízkého napětí. V celém souboru byl dokumentován pouze jeden případ mimonemocniční náhlé zástavy oběhu se vstupní fibrilací komor po zasažení elektrickým proudem nízkého napětí. Z 249 pacientů transportovaných do zdravotnického zařízení byl v přednemocniční neodkladné péči proveden elektrokardiografický záznam pouze u 205 pacientů. Celkem 182 pacientů bylo monitorováno po dobu $12.7 \text{ h} \pm 7.1 \text{ h}$ na urgentním příjmu. Pouze u jednoho pacienta se vyskytla symptomatická supraventrikulární tachykardie. Waldmann et al. (6) uvádí za nejčastější poruchy srdečního rytmu po zasažení elektrickým proudem sinusovou tachykardii a komorové extrasystoly. Prezentovaná data však nezohledňují pacienty, kteří zemřeli v důsledku poranění elektrickým proudem a nebyli transportováni do zdravotnického zařízení.

Zajímavým momentem námi prezentované kazuistiky je opožděná náhlá zástava oběhu s fibrilací komor, která u pacienta nastala za několik minut. V odborné literatuře je popsáno několik kazuistik s opožděnou náhlou zástavou oběhu v důsledku poruchy srdečního rytmu, u nichž je k dispozici iniciální elektrokardiografický záznam. Jednu z kazuistik publikoval Sharma et al. (7) již v roce 1990. Jednalo se o čtyřladvacetiletého muže, který byl zasažen elektrickým proudem o napětí 220 – 240 V. Po 45 minutách od zasažení elektrickým proudem byl vyšetřen a na elektrokardiogramu byla přítomna AV blokáda prvního stupně. Po dvou hodinách již na EKG záznamu byla přítomna AV blokáda 2. stupně typu Mobitz I a následující den byla u pacienta verifikovaná AV blokáda 3. stupně. Po šesti hodinách od provedení posledního EKG záznamu došlo u pacienta k fibrilaci komor s úspěšnou defibrilací. Pilecky et al. (5) zmiňují v diskuzi ještě jeden zdokumentovaný případ opožděné náhlé zástavy oběhu s bezpulsovou komorovou tachykardií vzniklou po 24 hodinách od zasažení elektrickým proudem. Ve vstupním EKG záznamu tohoto pacienta dominoval prodloužený QTc interval (500 ms).

Výskyt maligní komorové arytmie u pacientů observovaných a monitorovaných po zasažení elektrickým proudem je extrémně vzácný. Pawlik et al. (8) analyzovali data 240 pacientů zasažených elektrickým proudem. 62 % pacientů bylo monitorováno průměrně 4,25 hodiny. U žádného z nich se v průběhu monitorace nevyskytla maligní arytmie. Taktéž 90-denní mortalita byla 0 %. Shodné závěry publikovali ve své práci autoři Searle et al. (9), kteří do své observační studie zahrnuli 262 pacientů monitorovaných minimálně 12 hodin. U žádného pacienta se nevyskytla život ohrožující porucha srdečního rytmu. Taktéž nemocniční mortalita činila 0 %. Bailey et al. (10) publikovali výsledky multicentrické prospektivní studie 134 pacientů zasažených elektrickým proudem s minimálně jedním rizikovým faktorem podle recentních doporučených postupů ERC. Pacienti byli monitorováni po dobu 24 hodin a u žádného z nich se také nevyskytla maligní porucha srdečního rytmu. V průběhu jednoho roku se u těchto pacientů neobjevila žádná kardiovaskulární komplikace korespondující se zasažením elektrickým proudem. V současné

době je podle doporučených postupů ERC doporučeno monitorovat pacienta po zasažení elektrickým proudem tehdy, je-li přítomen minimálně jeden rizikový faktor: bezvědomí, iniciální zástava oběhu, poranění měkkých tkání a popáleniny a EKG abnormality při příjmu pacienta (2). Nicméně tato doporučení jsou založena pouze na několika kazuistikách a retrospektivních studiích s nízkou úrovní evidence.

Srdeční arytmie a poškození myokardu jsou dvě základní komplikace spojené se zasažením elektrickým proudem. Mechanismy patofyziologie opožděného vzniku maligní komorové arytmie nejsou dosud zcela jasné. Na zvířecích modelech byly při bioptickém vyšetření nalezeny arytmogenní ložiska v terénu myokardiální fibrózy se zvýšeným počtem sodno-draselných pump vedoucích ke změnám membránového potenciálu kardiomyocytů (6). Avšak tento mechanismus jistě nebyl příčinnou fibrilace komor u prezentovaného pacienta, neboť uvedené patofyziologické změny nastávají za výrazně delší dobu. Dalšími mechanismy uplatňujícími se v poškození srdečního svalu jsou myokardiální nekróza v důsledku elektroporace a elektrotermální konverze, ale také masivní vyplavení katecholaminů. Své místo v patofyziologii dále zaujímají koronární vazospasmus nebo zformování koronárního trombu, anoxie, koronární hypoperfuze v důsledku arytmií indukované hypotenze a samozřejmě traumatická kontuze myokardu (1). Strukturální poškození myokardu se však častěji vyskytují u pacientů poraněných elektrickým proudem o vysokém napětí. V závěru této diskuze nemůžeme opomenout riziko vzniku fibrilace komor po zasažení střídavým proudem o frekvenci 50 – 60 Hz ve vulnerabilní fázi srdečního cyklu (fenomén R na T) (6).

Závěr

Opožděná fibrilace komor je velmi raritní komplikací zasažení elektrickým proudem nízkého napětí. Patofyziologické mechanismy nejsou dosud zcela známy a pro jejich pochopení jsou nutné další studie. Nicméně, recentně uváděné rizikové faktory, kterými jsou strukturální onemocnění srdce, vstupní bezvědomí, zasažení elektrickým proudem vysokého napětí, popáleniny a poškození tkáně nemají potřebnou vypovídající prediktivní hodnotu výskytu maligních arytmií v období po zasažení elektrickým proudem.

Prohlášení o původnosti: Práce je původní a nebyla publikována ani není zaslána k recenznímu řízení do jiného média.

Střet zájmu: Autoři prohlašují, že nemají střet zájmů v souvislosti s tématem práce.

Podíl autorů: Všichni autoři rukopis četli, souhlasí s jeho zněním a zasláním do redakce časopisu Cardiology Letters.

C. P. Ch.: zpracování rukopisu, příprava materiálu ze zahraniční literatury

P. D.: spolutvorba rukopisu, kompletace materiálu

A. J.: spolutvorba rukopisu, autorka myšlenky

N. V.: spolutvorba rukopisu

P. J.: spolutvorba rukopisu

B. P.: spolutvorba rukopisu

B. T.: spolutvorba rukopisu

Financování: žádné

Registrace: N/A

Projednáání etickou komisí: N/A

Souhlas pacienta: Nelze získat z důvodu předčasného opuštění zdravotnického zařízení

Literatura

1. Duchini M, Ruggeri-Jozefowski M, Di Valentino M, et al. Atrial fibrillation induced by low-voltage electrical injury. *Cardiovascular Medicine*. 2018(2). DOI: 10.4414/cvm.2018.00544.
2. Truhlar A, Deakin CD, Soar J, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 2015;5:148-201.
3. Ho CWG, Yang SH, Wong CH, et al. High-voltage electrical injury complicated by compartment syndrome and acute kidney injury with successful limb salvage: A case report and review of the literature. *Int J Surg Case Rep* 2018(48). DOI: 10.1016/j.ijscr.2018.04.039
4. Lipový B, Kaloudová Y, Suchánek I, et al. Elektrotrauma. *Rozhl. Chir.* 2013; 92:288-291.
5. Pilecky D, Vamos M, Bogyi P, et al. Risk of cardiac arrhythmias after electrical accident: a single-center study of 480 patients. *Clin Res Cardiol*. 2019. DOI:10.1007/s00392-019-01420-2.
6. Waldmann V, Narayanan K, Combes N, et al. Electrical cardiac injuries: current concepts and management. *Eur. Heart J*. 2018;39:1459-1465.
7. Sharma BC, Patial RK, Pal LS, et al. Electrocardiographic manifestations following household electric current injury. *J Assoc Physicians India* 1990;38:938-939.
8. Pawlik AM, Lampart A, Stephan FP, et al. Outcomes of electrical injuries in the emergency department: a 10-year retrospective study. *Eur J Emerg Med* 2016;23:448-454.
9. Searle J, Slagman A, Maass W, et al. Cardiac monitoring in patients with electrical injuries. An analysis of 268 patients at the Charité Hospital. *Dtsch Arztebl Int* 2013;110:847-853.
10. Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL. Cardiac monitoring of high-risk patients after an electrical injury: a prospective multicentre study. *Emerg Med J* 2007;24:348-352.